
Gens, Wolfgang; Berger, Gotthard; Krafka, Peter :

***Stand der Untersuchungen zur feldorientierten Regelung eines
asynchronen Drehstromantriebes mit einem 16-bit-
Mehrrechnersystem***

Zuerst erschienen in:

34. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 1989,
Vortragsreihe A1: Elektroenergieanlagen und -systeme / Technische
Hochschule Ilmenau : IWK. - Ilmenau : Hochschule, ISSN 0374-3365,
Bd. 34 (1989), 1, S. 193-196

Stand der Untersuchungen zur feldorientierten Regelung eines asynchronen Drehstromantriebes mit einem 16-bit-Mehrrechnersystem

1. Einleitung

Im oberen Leistungsbereich drehzahlgeregelter elektrischer Antriebe werden in zunehmenden Maße pulswechselrichter gespeiste Drehstromasynchronmaschinen mit Kurzschlussläufer (DAS/K) eingesetzt. Die feldorientierte Drehzahlregelung (FOR) hat sich mit der Entwicklung der mikroprozessorgestützten Signalverarbeitung durchgesetzt. In diesem Beitrag wird eine Variante der FOR vorgestellt, in der ein Pulswechselrichter mit vergleichsweise niedriger Pulsfrequenz von 200 Hz zum Einsatz kommt. Desweiteren wird die Hard- und Software eines 16-Bit-Mehrrechnersystems für eine ausgewählte, realisierte Variante der FOR vorgestellt.

2. Regelungsstruktur

Im Bild 1 ist die vereinfachte Struktur der vollständigen feldorientierten Drehzahlregelung dargestellt. Die Grundlage der FOR bildet die Flußerfassung, im vorliegenden Fall mittels Flußmodell. Es wurde ein indirektes Verfahren mit den Eingangsgrößen Ständerstrom und Läuferwinkel angewendet. Das Flußmodell gibt den Betrag des komplexen Raumvektors (kRV) der Rotorflußverkettung Ψ_{R} im statorfesten Koordinatensystem (KOS) und den Flußwinkel in Form der skalaren Größe φ aus. Mit letzteren werden über eine Koordinatentransformation die Istwerte der

fluß- und drehmomentbildenden Ständerstromkomponenten im feldfesten KOS gebildet. Sie werden als Istwerte für die Zweikomponenten-Ständerstromregelung verwendet. Über den i_{sd} - und i_{sq} -Stromregler und den Block Entkopplung 2 erfolgt die Berechnung des Sollwertes des kRV der Ständerspannung u_{s} , der an den Ansteuersautomaten übergeben wird. Der Block Entkopplung 2 bewirkt die statische und dynamische Entkopplung der beiden Stromregelkreise. Der Flußregelkreis ist dem flußbildenden Ständerstromregelkreis überlagert. Der Flußsollwert kann konstant oder als Funktion der Drehzahl oder/und des Drehmoments vorgegeben werden. Der Drehzahlregler ist in üblicher Weise dem drehmomentbildenden Ständerstromregelkreis überlagert. Eine Besonderheit stellt die Division des Ausgangssignals des Drehzahlreglers durch den Flußistwert dar. Damit wird erreicht, daß die Regelkreisverstärkung im Feldschwäcbereich weitgehend konstant bleibt. Im Block Istwerterfassung sind die Einrichtungen zusammengefaßt, die die mechanischen Größen Drehzahl und Läuferdrehwinkel, den Flußistwert, die Ständerfrequenz und die beiden Ständerstromkomponenten erfassen bzw. berechnen. Auf Bild 2 ist das Sig-

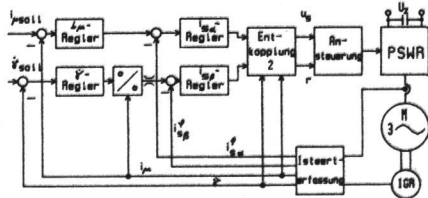


Bild 1: Blockschaubild der FOR

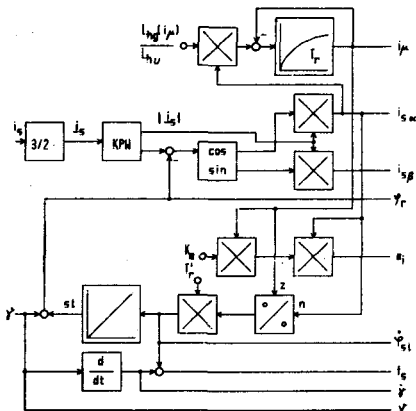


Bild 2: Signalflußbild der Istwertfassung
nalflußbild der Istwertfassung für die FOR
dargestellt.

In [1] sind mehrere Varianten von Flußmodellen beschrieben. Das Flußmodell mit den Eingangsgrößen Ständerstrom und Läuferwinkel wird angewendet, weil mit seiner Realisierung ein vertretbares Verhältnis zwischen erforderlicher Abtastzeit und benötigter Rechenzeit erreicht wird. Desweiteren berücksichtigt das Flußmodell die Sättigung der Hauptinduktivität der DASMK. Die Gln. (1) - (7) beschreiben das eingesetzte Flußmodell.

$$i_{\mu}^{\varphi} = \frac{L_{hg}(i_{\mu})}{\bar{R}_r} \cdot \frac{L_{hg}(i_{\mu})}{L_{hu}} \cdot i_{s\alpha}^{\varphi} - i_{\mu}^{\varphi} \quad (1)$$

$$\dot{\varphi}_{sl} = \frac{i_{s\beta}^{\varphi} \cdot L_{hg}(i_{\mu}) \cdot \bar{R}_r}{i_{\mu} \cdot L_{hu} \cdot (L_{r\sigma} + L_{hg}(i_{\mu}))} \quad (2)$$

$$\varphi_r = \gamma + \varphi_{sl} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\varphi} = \varepsilon_s - \varphi_r \quad (4)$$

$$i_{s\alpha}^{\varphi} = |i_s| \cdot \cos(\varepsilon_{\varphi}) \quad (5)$$

$$i_{s\beta}^{\varphi} = |i_s| \cdot \sin(\varepsilon_{\varphi}) \quad (6)$$

$$m_i = 3/2 \cdot p \cdot \frac{L_{hg}(i_{\mu})}{L_{hg}(i_{\mu}) + L_{\Delta r}} \cdot L_{hu} \cdot i_{s\beta}^{\varphi} \cdot i_{\mu}^{\varphi} \quad (7)$$

darin sind:

i_s^{φ} : Ständerstromkomponenten

m_i : Drehmoment

f_s : Ständerfrequenz

$\dot{\varphi}_{sl}$: Schlupffrequenz
 γ : elektrischer Läuferwinkel
 $\dot{\gamma}$: mechanische Winkelgeschwindigkeit
 $L_{hg}(i_{\mu})$: gesättigte Hauptinduktivität
 L_{hu} : ungesättigte Hauptinduktivität

Der kRV des Ständerstromes wird in einem Kartesisch-Polar-Wandler (KPW) in Betrag $|i_s|$ und Winkel umgewandelt, die als Eingangsgrößen des Flußmodells entsprechend den Gln. (1)-(7) wirken. Die Istwerte Drehmoment m_i , Schlupffrequenz $\dot{\varphi}_{sl}$ und die Ständerfrequenz f_s können ohne großen Mehraufwand berechnet werden. Sie stehen als Meßgrößen zur Auswertung des Verhaltens des Antriebs oder als Zustandsgrößen für die FOR zur Verfügung. Diese Istwertfassung ist für ein Laborantrieb konzipiert. Sie kann für andere Einsatzfälle abgerüstet werden.

Das Signalflußbild der Entkopplung 2 ist im Bild 3 dargestellt. Die Anforderungen an diese hängen vom dynamischen Verhalten des Stellgliedes ab. Je größer die Totzeiten des Ansteuerautomaten und des Pulswechselrichters sind, um so genauer muß der Sollwert der Statorspannung u_s^{φ} berechnet werden. Erfolgt die Orientierung des kRV u_s^{φ} auf den Flußwinkel γ von der Istwertfassung, so muß ein statischer Winkelfehler kompensiert werden, dessen Entstehung auf die Totzeit der Signalverarbeitung und des Pulswechselrichters zurückzuführen ist. Sie ist für unterschiedliche Ansteuerverfahren nicht konstant. Theoretische Untersuchungen haben gezeigt, daß bei einer Kompensation

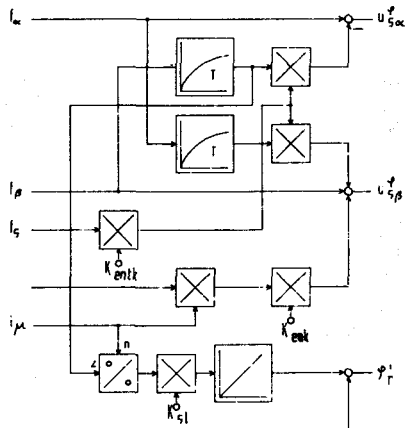


Bild 3: Signalflußbild der Entkopplerstruktur 2

der Totzeit durch Winkelvorsteuerung die FOR im oberen Drehzahlbereich instabil werden können. Eine Lösung dieses Problems wurde mit der im Bild 3 dargestellten Variante der Entkopplung 2 erreicht. Der kRV \underline{u}_f wird auf einen Flußwinkel φ_f orientiert, der sich aus der komplexen Eingangsgröße \underline{f} berechnet. Der Integrierer zur Berechnung des Schlupfwinkels bewirkt gleichzeitig eine statische Kompensation der Totzeit. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, daß statische Phasenfehler in der Ständerstrommessung keinen Einfluß auf das Verhalten der FOR haben, da der Flußwinkel für die Rücktransformation des kRV \underline{u}_f nicht benötigt wird.

3. Hardwarestruktur der digitalen

Signalverarbeitung

Das Bild 4 zeigt die Hardwarestruktur der Antriebssteuerung. Sie besteht im wesentlichen aus 2 Teilen:

- 16 bit-Mikrorechnersystem
- K1520 Verwaltungsrechner.

Der Kern des 16 bit-Hauptrechners (FOR-Rechner) ist die ZRE USS 8000 /2/. Die ZRE bildet drei 16 bit-Bussysteme:

- einem modifizierten K1520-Bus
- einem 16bit-GSS-Bus mit 4 Segmentadressen
- einem lokalen Z-Bus.

Der lokale Z-Bus ist nicht getrieben, deshalb kann an diesen nur eine 8k EPROM / 8k RAM Karte geschaltet werden. An dem modifizierten K1520-Bus können sowohl Speicher als auch E/A-Karten betrieben werden. Im vorliegenden Einsatzfall wurde dieser nur für einen 4-Kanal-DA-Wandler verwendet. Alle anderen Leiterkarten, der 128k RAM, das Videointerface VIS2, der Dual-Port-RAM und die beiden 16 bit-Einkartenrechner werden vom GSS-Bus angesteuert. Der GSS-Bus ist ein getriebener gemultiplexer 16 bit-Adress-Datenbus mit 4 Segmentadressen. Damit ist direkt ein 1 Mbyte Speicher adressierbar.

Der 16 bit-Einkartenrechner 1 (Meßwertrechner) realisiert die Messung von 4 analogen Eingangsgrößen, ein IGR-Interface und die Vorverarbeitung der Meßwerte. Der 16 bit-Einkartenrechner 2 (Ansteuerautomat) hat die Aufgabe, die Schaltinformation für den Pulswechselrichter zu berechnen und auszugeben. Ihre Kopplung zur ZRE USS 8000 erfolgt über je einen Dual-Port-RAM. Diese Art der Rechnerkopplung hat sich als sehr

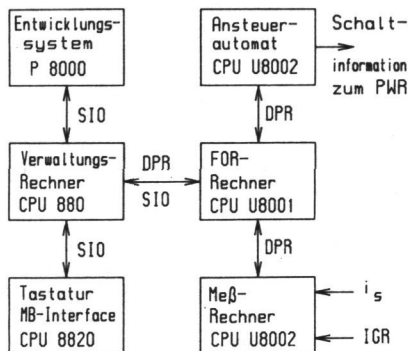


Bild 4: Hardwarestruktur der Antriebssteuerung effektiv und rechenzeitgünstig erwiesen.

Der 8 bit-Verwaltungsrechner und der 16 bit-Hauptrechner sind sowohl über eine serielle Kopplung als auch über einen Dual-Port-RAM verbunden. Der Dual-Port-RAM wird vorwiegend zur Prozeßsteuerung eingesetzt, die serielle Kopplung vorwiegend zum Laden von Programmen und für Debugfunktionen.

Zur Programmentwicklung steht das Entwicklungssystem P8000 unter dem UNIX-kompatiblen Betriebssystem WEGA zur Verfügung. Die daran erarbeiteten Programme werden über eine serielle Datenfernübertragung in den 8 bit-Verwaltungsrechner übertragen, der gleichzeitig als Terminal des P8000 arbeiten kann.

4. Softwarestruktur und Aufgabenverteilung im 16 bit-Mehrrechnersystem

Im 16 bit-Hauptrechner wurde ein Echtzeitbetriebssystem mit dem Grundtakt 2.5 ms implementiert. Die FOR wurde in drei periodisch aufrufende Programmebenen mit den Abtastzeiten von 2.5 ms, 5 ms und 10 ms realisiert. In der 2.5 ms-Ebene erfolgt die Berechnung der Komponenten der beiden Stromregelkreise und die Entkopplung 2. In der 5 ms-Ebene werden der Drehzahlregler und die Division der Ausgangsgröße des Drehzahlreglers durch den Betrag der Rotorflußverketung abgearbeitet. Die Berechnung der Algorithmen des Flußreglers und der EMK der DASKM erfolgt in der 10 ms-Ebene. In weiteren Programmebenen werden eine Vielzahl von Service- und Anzeigefunktionen realisiert. Die Aufgabenverteilung auf die drei 16 bit-Mikrorechnern wurde nach Minimierung des Datenaustauschs und möglichst gleicher

Rechenzeitbelastung optimiert. Dementsprechend wurde im Meßwertrechner die gesamte Istwerterfassung realisiert (siehe Bild 3). Damit steht ein universelles Meßsystem zur Verfügung, das es erlaubt, auch andere Regelungsstrukturen ohne Änderung der Hard- und Software zu untersuchen. Die Softwarechnittstelle zwischen den 16 bit-Hauptrechner und dem Ansteuerautomat realisiert die Übergabe des berechneten $kRV \mu_f$ und des berechneten Flußwinkels ψ . Die Berechnung der Polarkoordinaten und Koordinatentransformation des $kRV \mu_f$ erfolgt deshalb im Ansteuerautomat und entlastet den 16 bit-Hauptrechner. Desweiteren wird im Ansteuerautomat die Berechnung und Ausgabe der Schaltinformationen für den Pulswechselrichter vorgenommen/3/.

Mit diesem Steuerungssystem ist es möglich, unterschiedliche Strukturen der FOR zu programmieren und experimentell zu untersuchen, da die vorgestellte Steuerung noch Erweiterungen zuläßt.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Vertragsforschung für den VEB Kombinat Lokomotiv- und Elektrotechnische Werke Hennigsdorf ausgeführt.

Litaratur:

- /1/ Tonn, F., Beitrag zur vollständigen digitalen Signal-verarbeitung bei der feldorientierten Drehzahlregelung einer von einem Pulsspannungswechselrichter gespeisten Drehstromasynchronmaschine, Dissertation A, Technische Hochschule Ilmenau, 1988
- /2/ Rehm W.; Fey P.: Leistungsfähige 16-bit-ZRE-Karte für K1520
rfe 32 (1983) 10 S. 629-631
- /3/ Lipp, A., Beitrag zur Erarbeitung und Untersuchung von on-line Algorithmen für die digitale Ansteuerung von Pulsspannungswechselrichtern zur Drehzahlstellung von Drehstromasynchronmaschinen
Dissertation A, Technische Hochschule Ilmenau, 1989

Verfasser:

Prof. Dr. sc. tech. Wolfgang Gens,
Wissenschaftsbereichsleiter
Dr.-Ing. Gotthard Berger, wiss.Oberassistent
Dipl.-Ing. Peter Krafka, Forschungsstudent,
Technische Hochschule Ilmenau
Sektion Elektrotechnik
PSF 327, Ilmenau, 6300